

中国鉄鋼業における省エネルギーとCO2排出削減対策

著者	川端 望, 趙 洋
権利	Copyrights 日本貿易振興機構（ジェトロ）アジア経済研究所 / Institute of Developing Economies, Japan External Trade Organization (IDE-JETRO) http://www.ide.go.jp
雑誌名	アジア経済
巻	55
号	1
ページ	97-127
発行年	2014-03
出版者	日本貿易振興機構アジア経済研究所
URL	http://hdl.handle.net/2344/00006928

中国鉄鋼業における省エネルギーとCO₂排出削減対策

かわ
川
ちよう
趙

ばた
端

のぞむ
望
よう
洋

《要 約》

鉄鋼業において、エネルギー消費とCO₂排出は強く相関している。この両者を規定する要因は、鉄鋼生産量、技術体系とその構成、特定の技術体系の下でのエネルギー効率である。中国鉄鋼業においては、設備の大型化、現代化と省エネルギー設備の導入、小型設備の淘汰が進んでいる。重点企業においてはエネルギー効率の劣位は緩和されつつあり、小型設備淘汰の課題はなお継続しているものの、解決に向かっている。その一方、鉄源を銑鉄に極端に依存する技術体系と巨大な粗鋼生産規模が、エネルギー消費とCO₂排出を規定する重要な要因となりつつある。中国政府は鉄鋼業におけるエネルギー効率の増進と生産抑制に取り組んでいるが、そのためには大規模な産業構造転換が必要であり、またそれが「第十二次五カ年計画」の目標どおりに実現してもなお、2020年までにエネルギー消費とCO₂排出の総量を削減することは困難である。このような問題の所在に対応した政策的重点課題は、製鉄技術のブレイクスルー、スクラップ・電炉法の比率を高める技術転換、生産量のいっそうの抑制である。鉄鋼業の日中国際技術協力政策は、利用可能な技術の移転を重視するものから、これらの重点課題に中国が直接かかわるものに拡張される必要がある。

はじめに

- I 中国鉄鋼業の技術体系とエネルギー効率
- II 省エネルギー対策の展開と課題
- III 鉄鋼生産量の増大とその諸要因
- IV 総括と含意

はじめに

1. 問題意識と課題

本稿は、中国鉄鋼業における省エネルギーとCO₂（二酸化炭素）排出削減の取り組みについて、

その到達点と課題を明らかにするものである。

世界において、鉄鋼業は、製造業のうち電力産業に次ぐCO₂排出源である。その主な原因は、主流の鉄鋼生産技術である高炉法において、鉄鉱石中に含まれる酸化鉄をコークスや微粉炭により還元して銑鉄を取り出す際に、CO₂が発生するからである。鉄鋼生産技術にはこのほか、スクラップを原料とする電炉法がある。スクラップは還元済みの鋼鉄であるが、電炉で溶解製錬する際に多量の電力を消費するため、発電

が火力によって行われている場合には間接的にCO₂を排出することになる。

世界鉄鋼協会（WSA）によれば、中国の粗鋼生産は2010年に6億2665万トンとなり、世界の44.3パーセントを占めた〔WSA 2011〕^{〔注1〕}。他の産業と比べても、温暖化対策の観点からそのCO₂排出量が注目されるのは当然と言わねばならない^{〔注2〕}。しかし、中国鉄鋼業が生産を急速に拡大しているのは周知のことである一方、その省エネルギー対策とCO₂排出削減策については、国際社会に正確な情報が伝わっているとは言いがたい。京都議定書第一約束期間後における温暖化対策の具体的制度設計や、省エネルギーを促す経済的メカニズム——たとえば市場化の推進か規制の強化か——については、鉄鋼業についても論じられているが^{〔注3〕}、その前提条件となる現状認識が不十分ではないだろうか。「中国政府は、鉄鋼業におけるCO₂排出削減対策を本気でやっているのか」という単純な論点をとっても、国際的に共通認識が形成されていないのが現実であろう。

本稿では、実証分析によって中国鉄鋼業の省エネルギー・CO₂排出削減対策の到達点と課題を明らかにし、さらに現在中国政府が対策をどこまで推し進めようとしているか、そこにどのようなハードルがあるかについて分析する。さらに、中国政府の描く省エネに関するシナリオが実現した場合に、鉄鋼業からのCO₂排出量は減少するのか増加するのかを明らかにする。そして、国際技術協力政策への含意を述べる。

2. 問題の所在

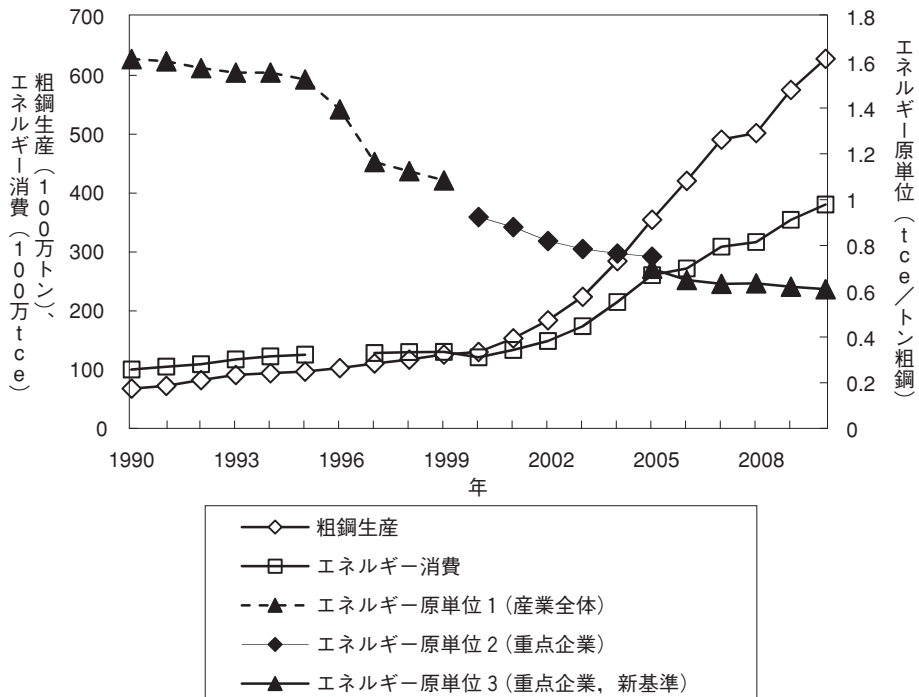
鉄鋼業が排出するCO₂全体のうち、化石燃料の燃焼に由来する割合は94.4パーセントを占め

ている〔IEA 2008, 480-481〕。このため、化石燃料の燃焼によるエネルギー消費の動向から、CO₂排出の動向が推定できる^{〔注4〕}。中国鋼鉄工業協会（CISA）の公式統計では、エネルギー消費のみについて時系列で把握しているが、そこからCO₂排出量の動向を類推することができる。

エネルギー消費総量とエネルギー原単位をまとめたものが図1である。2005年以後の原単位は政府が指定した重点大中型企業（以下、重点企業）についてしか把握されていない。そして非重点企業の原単位は重点企業と同じだと仮定してエネルギー消費総量が推計されている〔中国鋼鉄工業“十五”発展概覧編輯委員会 2006, 47〕。しかし、重点企業の粗鋼生産高は2010年実績で中国全体の86.8パーセントである〔中国鋼鉄工業協会 2011a〕。統計上把握されない非重点企業のエネルギー原単位はより劣悪であり、このためにエネルギー消費総量は過小評価されていると考えられる。また、2005年以後には電力等効係数（power equivalent value）から電力当量係数（power calorific value）への基準変更が行われているために、数値が連続しなくなっている。

しかし、それでも全体として言えることは、原単位に示されるエネルギー効率は改善傾向にある一方、エネルギー総消費量は増大し続けているということである。エネルギー総消費は原単位と粗鋼生産量の積であるから、原単位の改善傾向を打ち消すほどに粗鋼生産量が増大したということである。エネルギー総消費抑制の可能性を検討するためには、エネルギー原単位だけではなく粗鋼生産量にも注目しなければならないのである。

図1 中国鉄鋼業のエネルギー消費とエネルギー原単位



(出所) 中国鋼鉄工業五十年数字彙編編輯委員会 [2003], 中国鋼鉄工業“十五”發展概覽編輯委員会 [2006, 47], 中国鋼鉄工業年鑑編輯委員会 [2011] より作成。

(注) 原単位は統計上「粗鋼トンあたり総合エネルギー消費」とされているものであり、製品構成や工程変化による補正はかけられていない。2000年以後、エネルギー原単位は重点企業についてしか統計が取れていないが、粗鋼生産は非重点企業を含んだものである。エネルギー消費は重点企業の原単位に全国粗鋼生産を掛けたものであり、過小評価になっている可能性が高い。非重点企業のエネルギー原単位が重点企業のそれより高いと考えられるからである。

3. 先行研究の検討と本稿の構成

地球温暖化問題が意識される以前は、エネルギーの観点からの鉄鋼業研究は、主として原単位で表されるエネルギー効率に注目していた。それが製鉄所や企業の経営パフォーマンスに直結していたからである。粗鋼トン当たりでみたエネルギー消費原単位、またはGDP単位当たりでみたエネルギー消費原単位の推定が試みられてきた。この視角からの研究は継続的に行われており、Oda et al. [2012], 寧・外岡 [2008] や Guo and Fu [2009] は、中国鉄鋼業のエネル

ギー効率が先進国よりも劣っていること、しかし傾向としては有意に改善しつつあることを指摘している。これは重要な指摘であり、本稿でさらに深めようとするものである。

地球温暖化問題が政策課題として重要性を増すにつれ、エネルギー総消費量もまた、政策指標として重要視されるようになった。温暖化問題においては、CO₂をはじめとする温室効果ガス (GHG) の排出総量が国別に問題とされる。鉄鋼業の場合、前述のようにエネルギー消費とCO₂排出がほぼパラレルな関係にある。このた

め、鉄鋼業における国別エネルギー消費総量も問題にされざるを得ないのである。総量の観点を取り込んだ先行研究はまだ多くはないが、Oda et al. [2007] と Wang et al. [2007] は、エネルギー消費総量と CO₂排出総量を低減させるシナリオを描き、これを実現するためにかかる費用のシミュレーションを行っている。Oda et al. [2007] の場合は、対象は全世界の鉄鋼業であり、CO₂濃度を抑制する観点からのトップダウンシナリオを2種（排出量取引がある場合とない場合）、実現可能とみられる省エネルギー技術を普及させる観点からのボトムアップシナリオを2種（転炉製鋼中心のものと、転炉製鋼・電炉製鋼併用のもの）作成した上で、気候変動対策をとらなかつた場合を示すレファレンス・シナリオに対して、どれほどの省エネルギー・CO₂排出削減がどれほどのコストで可能かを推定している。一方、Wang et al. [2007] は省エネルギー政策が現実よりも弱めに行われるベースラインシナリオ、2000年代に中国政府がとっていた鉄鋼産業政策が実現するシナリオ、より強力な省エネルギー政策が実施された場合のシナリオを設定し、それぞれについてエネルギー消費総量・CO₂排出総量、対策費用を算出する手法をとっている。本稿はエネルギー消費総量・CO₂排出総量自体の見通しを立てるという点では Wang et al. [2007] のアプローチを継承する。同時に、いずれのシミュレーションでもエネルギー消費総量と CO₂排出総量を規定する要因として、所与の技術体系の下でエネルギー効率を向上させることとともに、電炉製鋼へのシフトという技術選択の調整も重視されていることに注目する。

以上のような原単位・総量分析の蓄積に対し

て、中国鉄鋼業の省エネルギー・CO₂排出削減政策の背景や世界の温暖化対策のなかでの位置付けについて、社会科学的に考察する先行研究は極端に少ない。そのなかで明日香・李・盧 [2010] は、2009年に中国政府が発表した CO₂削減目標の根拠となっている2050中国能源和炭排放研究課題組 [2009] と国家發展和改革委員会能源研究所課題組 [2009] を検討し、中国政府が鉄鋼業の省エネルギー対策に相当な力を入れようとしていることを示している。この評価は納得できるものであり、本稿はより新しい政策に即しての検証を行うものである。

以上のように、先行研究には学ぶべき点が多々あるものの、課題も残されている。

まず、いずれの研究もエネルギー消費・CO₂排出総量を規定する要因が何であるかについての指摘が明確でないことである。エネルギー消費・CO₂排出総量は原単位で表されるエネルギー効率と生産量との積である。またエネルギー効率の優劣は、技術体系ごとに区分してとらえる必要がある。後述するように、高炉・転炉法とスクラップ・電炉法では、等しく世界の標準的な技術水準を達成していても、エネルギー効率が異なるからである。原単位に関心を集中した研究のみならず、総量の研究も、技術体系の選択・構成、エネルギー効率、鉄鋼生産量のいずれが中国におけるエネルギー消費・CO₂排出総量を規定するかについて明確に述べてはいない。本稿はこの状況からの前進を図るものである。

次に、いずれの研究も中国鉄鋼業における2000年代後半の急速な変化を反映していないことである。すなわち、一方では生産量の予想を上回る急増、他方では生産・環境技術への投資

や設備集約の進展である。現状評価とシナリオ設定にあたって、可能な限り最新のデータや企業行動の傾向を取り込むことが必要となっている。また、シナリオ設定に取り込むべき政策も、最新のものに置き換える必要がある。すなわち、2011～15年の社会経済政策の根幹をなす「第十二次五カ年規劃」（以下、「十二五」）〔中華人民共和国 2011〕と、その鉄鋼業版である「鋼鉄工業“十二五”發展規劃」（以下、「鉄鋼業十二五」）〔工業和信息化部 2011〕を対象として、その目標達成の困難度や、達成された場合に予測されるエネルギー消費・CO₂排出の状態を明らかにすることである。

さらに、先行研究はシナリオ分析が厳密である一方、中国鉄鋼業の生産構造に関する考察、現実に行われてきた生産・投資行動、政府の政策実施状況に関する現状分析的な評価の視点が弱い。このため、今後の変革の方向や難易度については触れられないか、必要投資額の多寡によってのみ難易度が表される傾向にある。本稿は、生産・投資に関する現状分析の視点を加えることで、より多角的に変化の傾向と今後の展望をつかむ手法をとる。

以下、本稿では、エネルギー消費・CO₂排出総量を原単位と鉄鋼生産量の2要因に分解し、さらに原単位を、技術体系の選択と、ある技術体系の下でのエネルギー効率とに分解した上で、過去10年の生産・投資や政府の政策の動向を踏まえ、国際比較による省エネ・CO₂排出削減対策の到達点の評価を加えながら分析を行っていく。

第Ⅰ節では、原単位を規定する中国鉄鋼業の技術体系とエネルギー効率について、実証分析を行う。第Ⅱ節では、中国鉄鋼業で実行されて

いる省エネルギー政策の到達点と「十二五」での新たな目標について論じる。第Ⅲ節では、鉄鋼生産量について、2020年まで射程を伸ばした「十二五」および「鉄鋼十二五」の延長シナリオを作成し、これを実現するために必要な条件を明らかにする。第Ⅳ節では、原単位分析と生産量分析を総合して、中国政府の政策シナリオが実現した場合に鉄鋼業のエネルギー消費・CO₂排出総量が削減に向かうか増加するかを推計する。そして、中国鉄鋼業のエネルギー消費とCO₂排出を規定する要因と、省エネルギー・CO₂排出削減に当たっての問題点について結論を述べる。併せて日中間の国際技術協力政策に対する含意を示す。

I 中国鉄鋼業の技術体系とエネルギー効率

1. 銑鋼一貫企業中心の階層的生産構造

本節ではエネルギー原単位に注目する。エネルギー原単位を規定する要因は、技術体系の選択・構成と、ある技術体系の下でのエネルギー効率である。この2側面に関する問題の所在を確認するためには、中国鉄鋼業の生産構造を概観しておかねばならない。

鉄鋼業の生産構造を明らかにするためには、企業群を生産形態によって類型化することが有効である。2010年の時点についてこれを行ったのが表1である。

ここからわかる第1の特徴は、中国鉄鋼業においては銑鋼一貫企業が主要な企業類型だということである^(注5)。通常、粗鋼生産は鉄鉱石を主要原料として高炉により溶銑（高温溶融状態の銑鉄）を生産し、これを転炉によって粗鋼に

表1 中国鉄鋼企業の階層的生産構造（2010年）

企業類型	企業数	2010年生産量			
		銑鉄 (Mt)	粗鋼 (Mt)	鋼材 (Mt)	粗鋼生産 シェア (%)
重点巨大銑鋼一貫企業 (≥10Mt)	13	301.84	319.52	303.43	50.0
重点大中型銑鋼一貫企業 (3-10Mt)	29	155.70	167.19	157.10	26.1
重点小型銑鋼一貫企業 (<3Mt)	27	50.77	52.98	49.25	8.3
重点電炉企業	3	0.90	5.63	6.14	0.9
その他の重点企業	15	13.86	13.06	3.31	2.0
重点企業合計	87	519.85	554.31	516.29	86.8
非重点企業	12,056	75.75	84.43	285.73	13.2
全国計	12,143	595.60	638.74	802.01	100.0

（出所）中国鋼鉄工業協会〔2011a〕より計算し、各企業ウェブサイトで情報を補って作成。

（注）銑鋼一貫企業とは、製銑・製鋼・圧延のすべての工程を内部にもつ企業である。本表作成に当たっては、銑鉄・粗鋼・鋼材のいずれも生産しており、かついずれかの生産が他の品目の生産の3分の1を下回らない企業を銑鋼一貫企業と判断した。電炉企業とは、スクラップ・電炉法で製鋼を行いつつ製鋼・圧延の工程を内部にもつ企業である。本表作成に当たっては、銑鉄の生産がゼロないし粗鋼の生産の3分の1未満であり、かつ粗鋼・鋼材を生産している企業を電炉企業の候補とした。その上で、企業ウェブサイトから電炉製鋼を行っているかどうかを確認の上で、最終的に電炉企業であるかどうかを判断した。

中国鋼鉄工業協会〔2011a〕の各重点企業の生産高を合計した銑鉄、粗鋼、鋼材の数値と、重点企業合計として記されている数値とは一致しない。そのズレは最大で407万トン（粗鋼）である。ここでは後者を重点企業の合計値として用いた。

精錬する高炉・転炉法か、スクラップを主要原料としてこれを電気炉で溶解精錬するスクラップ・電炉法によって行われる。中国では前者によって生産を行う企業が主流であり、重点銑鋼一貫企業による粗鋼生産シェアは84.5パーセントに達する。

第2に、中国鉄鋼業においては、大小さまざまな規模の銑鋼一貫企業が粗鋼生産を担っているということである。一方では1000万トンを超える重点銑鋼一貫企業が13社存在し、3億1952万トンもの粗鋼を生産している。しかし、その国内生産シェアは50.0パーセントにすぎない。他方では300万トン未満の重点小型銑鋼一貫企業27社が5298万トン、8.3パーセントを製造している。また、1万2000社を超え、小型企業が

大半である非重点企業も、粗鋼8443万トン、全国の13.2パーセントを生産している。しかも注目すべきは、銑鉄も7575万トンを製造していることである。このうち1886万トンは鑄造用銑鉄であるが、それ以外の5689万トンは製鋼用原料である〔中国鋼鉄工業協会2011a〕。これは、非重点企業の中にも小規模な銑鋼一貫企業が存在することを示唆しているのである。

2. 鉄源を極端に銑鉄に依存した技術体系

同一量の粗鋼を生産する際に技術体系をどのように選択するかは、エネルギー消費・CO₂排出に強く影響する。前述のように、粗鋼生産は通常、高炉・転炉法かスクラップ・電炉法によって行われる。

鉄鋼業の生産工程のうち、エネルギーをもっとも消費し、CO₂をもっとも多量に発生させるのは製鉄工程である。そのなかでもエネルギー消費は高炉、次いでコークス炉で大きく、CO₂を直接に排出するのは鉄鉱石を還元する高炉である。国際エネルギー機関（IEA）の推定によれば、高炉・転炉法の粗鋼トン当たりエネルギー原単位は、スクラップ・電炉法の2.17～3.5倍程度に達する。そして、CO₂排出原単位も、先進的な高炉・転炉法でスクラップ・電炉法の2.4～6.0倍程度となる [IEA 2008, 484]。これは、電炉が消費する電力の発電に際して排出されるCO₂を織り込んだ上での比率である。発電方式によってエネルギー生産のCO₂排出原単位が大きく異なるため、エネルギー原単位よりもCO₂排出原単位の幅の方が大きい。なお、IEAの試算は電炉の鉄源を100パーセントスクラップとする場合であるが、日本国内の鉄源構成を用いた試算でも、やはり高炉・転炉法の粗鋼トン当たりCO₂排出原単位は電炉法の2.68倍程度となる [物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター 2004, 3-4]。技術水準やエネルギー効率以前に、高炉・転炉法という技術体系の選択が、エネルギー消費・CO₂排出原単位の高止まりを招くのである。

さて、中国の高炉・転炉法の比率の高さについて、国際比較も交えながらいまい少し立ち入って検討しよう。高炉・転炉法の採用度合いを国際比較する簡便な指標として用いられる転炉製鋼比率を^(注6)、中国について国際比較可能な統計によってみると、2010年に90.2パーセントを占めており、日本の78.2パーセント、韓国の58.4パーセント、アメリカの38.7パーセント、EU27の57.7パーセントなどと比べても明らか

に高い [WSA 2011, 24-25]。中国鋼鉄協会の統計では中国の転炉製鋼比率は89.6パーセントであるが、重点企業が92.8パーセントであるのに対して非重点企業では68.5パーセントとやや低い [中国鋼鉄工業協会 2011a]。このことの裏返しとして、非重点企業では電炉製鋼比率がやや上昇する。しかし、非重点企業でも転炉製鋼の方が主流なのである。

そして、製鋼炉に装入される鉄源の構成に立ち入ってみると、中国にはさらに独自の特徴があることがわかる。重点企業の製鋼炉に装入される粗鋼トン当たりの鉄源を、詳細内訳がわかる2008年のデータでみてみよう。転炉では銑鉄が1002キログラム／トン、スクラップが82キログラム／トンである [中国鋼鉄工業協会 2009b, 140]。つまり鉄源の92.4パーセントが銑鉄である。これは高炉・転炉法では正常な数値であるが、同年の日本の85.7パーセントよりはやや高い^(注7)。注目すべきは電炉の鉄源であり、中国では溶銑436キログラム／トン、冷銑（常温固体の銑鉄）90キログラム／トン、スクラップ546キログラム／トンである。つまり電炉でも鉄源の49.1パーセントは銑鉄であり、これは日本の2.4パーセントとは比べものにならないほどの高さである。しかも冷銑より溶銑のほうがはるかに多い。これは、電炉製鋼を行う企業のうち相当部分が小型高炉を併設し、溶銑操業によって高炉・電炉法による特殊な「銑鋼一貫生産」を行っていることを意味する。実際に、そうした事例があることも報告されている [日本鉄源協会 2008, 117-121]。

このように中国鉄鋼業は、高炉・転炉法の比率が高い、より正確に言えば鉄源を極端に銑鉄に依存する技術体系を選択しているのである。

3. 階層的生産と銑鉄依存をもたらしたもの

階層的生産と銑鉄依存という2つの構造はいかなる要因によってもたらされているのか。

銑鉄に依存した階層的生産構造の特異性は、小型高炉が多数存在することの特異性に帰着する^(注8)。日本を含む多くの諸国では、高炉は規模の経済性が強く作用する装置であり、炉内容積が2000立方メートル以上でなければ経済的な生産は難しい。ところが、中国では炉内容積1000立方メートル未満の小型高炉が計画経済期に温存されてきたばかりか、「改革・開放」期に急増したのである。

その歴史的な前提は、「大躍進」期の1959年以後、それ以前に試みられた土法高炉での生産成績があまりに悪かったことを受けて、洋式小型高炉が全国に普及したことである〔石川1962〕。「大躍進」の失敗後も、小型高炉は1960年代後半の「小躍進」期に増設され、その後、「改革・開放」政策が始まると、今度は景気上昇と市場化の機会を得たこと、地方政府の保護を得たことによって温存された〔田島1990〕。

小型高炉は1993年以後に激増するが、これは1993年から2005年前後とそれ以降の2つの局面に分けられる。まず、1993年に山西省を中心に多数の小型高炉が建設された。これは、鉄鉱石・石炭価格と銑鉄価格の自由化のタイムラグを利用したものであった。鉄鉱石・石炭価格が規制されたままで、まず銑鉄価格が先行して自由化されて上昇したため銑鉄生産の利益率が一時的に高くなり、このことに促されて多くの企業が参入したのである〔杉本2000〕。その多くは銑鋼一貫企業ではなく単純製銑企業であり、炉内容積は100立方メートル未満であった〔川端1997〕。その後、約10年間、小型高炉は山西

省と河北省を中心に非重点企業の銑鉄生産を担い続けたが、その競争力はもっぱら原料立地による低廉な鉄鉱石、石炭、コークス入手の便宜と低賃金に依存していた〔川端2005, 第6章〕。また環境対策がなされなかったので、深刻な大気・水質汚染をもたらした〔張・高橋・大村2001; 氏川2001; 川原2006〕。

2000年代半ば以後、原料価格が高騰し、また政府の小型設備淘汰政策が強化されたことで、小型高炉の存立基盤が狭まった。小型企業の一部は市場から退出し、一部は炉内容積を300～450立方メートルに拡大しつつ、銑鋼一貫化して存続または新規参入した。主要な製品は棒鋼、小型形鋼、線材、溶接鋼管といった建設用鋼材であり、地域の市場に製品を供給した^(注9)。

この段階でも小型高炉が存続できた理由は2点考えられる。第1に、小型高炉の設計が標準化し、短い納期と安価な費用での建設が可能になっていたことである。このことは鉄鋼業への参入障壁を低めた。2000年代前半の大型高炉と小型高炉の建設プロジェクトを比較した調査によれば、炉内容積4300立方メートルの宝山鋼鉄第4高炉が総工費100億元、工期2年であったのに対して、南通鋼鉄の380立方メートル高炉はそれぞれ1億1000万元、8カ月、北泰鋼鉄の316立方メートル高炉は6000万元、1年であった〔みずほコーポレート銀行産業調査部2004〕。筆者の一人は山西安泰集団を何度か訪問したが、2003年2月に更地であったところに、1年10カ月後には450立方メートル高炉が2基建設され、1基は稼働を開始していたのを目撃したことがある。

第2に、なおも環境対策を軽視して、そのコスト負担を回避したことである。王泰昌らは、

300立方メートル以下高炉と1000立方メートル以上高炉をもつ企業の技術指標をモデル化しているが、トン当たり粉塵排出量は小型高炉が中・大型高炉の19倍、トン当たり SO_2 (二酸化硫黄) 排出は3.4倍であった。小型高炉のトン当たり銑鉄生産費は1600元であり、中・大型高炉の1550元と拮抗していたが、それは環境対策費を負担しないことによって実現できたものであった〔王・張・遲 2007, 23〕。

そして、小型高炉の存続は、電炉企業が銑鉄に鉄源を依存する理由でもあった。2000年代の後半には、世界の一般的動向と同じく、中国においても市販される冷銑の価格はスクラップ価格よりは4～18パーセントほど高くなっていた〔王鎮武 2011, 7〕。しかし、前述の通り、この時期、電炉企業は外部から冷銑を購入するのではなく、自ら高炉を建設して溶銑を鉄源として利用していた。電炉で溶銑操業を行うことで、冷銑を溶解する場合には必要な電力を節約していたのである〔電炉業構造改善促進協会 2003, 25〕。前述の南通鋼鉄（現・南通宝鋼鋼鉄）も高炉・電炉操業を行っていた。このため銑鉄利用のコストは冷銑の市中価格が表現するよりも安かったと考えられる。

このような技術選択は、市場経済化の過程で選択されてきたものであり、汚染と CO_2 排出が問題視される以前には、個別企業にとって合理的であったかもしれない。しかし現在および今後は、環境保護と CO_2 排出の社会的費用を考慮した選択が要請されるのである。

4. エネルギー効率の国際比較

続いて、高炉・転炉法とスクラップ・電炉法それぞれのエネルギー効率を国際比較によって

みよう。もっとも新しい推計値は地球環境産業技術研究機構（RITE）システム研究グループによる高炉・転炉法、電炉法のそれぞれに関するエネルギー原単位の国際比較であり、その結果をまとめると表2のようになる。

まず高炉・転炉法について。中国のトン当たりエネルギー消費は日本と比べて2005年には22.5パーセント多かったが、2010年にはその差は17パーセントに縮まった。2005年については中国の統計基準に即して重点企業・非重点企業を分けて推計した値があり、日本と中国重点企業の差は6.6パーセント、非重点企業との差は59.9パーセントであった。重点企業と非重点企業との間に非常に大きな差があることがわかる。また、2005年と2010年の両方において、中国が世界平均よりも低いエネルギー原単位を達成したことは注目すべきである。そして、中国は他の非 OECD 諸国とともに、2000年以後、新規設備導入や省エネ技術普及にともないエネルギー原単位の改善がみられると指摘されている〔RITE システム研究グループ 2009, 11; 2012a, 17〕。

別の推計をみると、第十次五カ年規劃期（2001～05年）の結果を中国鋼鉄工業協会でもまとめた公式見解とみられるものでは、2004年の銑鋼一貫生産による鋼材トン当たりエネルギー原単位において、中国重点企業平均は1999年国際先進水準に対して15.2パーセント劣っていた〔中国鋼鉄工業“十五”發展概覽編輯委員会2006, 48〕。それ以外のいくつかの推計でも、いずれも中国重点企業の平均は日本企業の平均より劣っていた。その差は、2006年の WSA データを用いた王維興〔2011, 22〕による高炉燃料比の推計では11.4パーセント、2004年の中国鋼鉄工業協会データを用いた寧・外岡〔2008, 54-55〕

表2 2005年および2010年の製鋼法別エネルギー効率国際比較

		エネルギー効率 (GJ/tcs)		差異 (日本=1)	
		2005	2010	2005	2010
高炉・転炉法	日本	23.1	22.9	1.000	1.000
	中国平均	28.3	26.8	1.225	1.170
	世界平均	28.4	27.1	1.229	1.183
	中国統計標準に基づいた推計値				
	日本	21.2		1.000	
	中国平均	24.7		1.165	
	中国重点企業	22.6		1.066	
	中国非重点企業	33.9		1.599	
電炉法	日本	8.36	8.3	1.000	1.000
	中国	8.66	8.7	1.036	1.048
	世界平均	8.78	8.8	1.050	1.060

(出所) RITE システム研究グループ [2009; 2010; 2012a; 2012b] より作成。

による鋼材比較可能エネルギー消費原単位の推計では7.5パーセント、Guo and Fu [2009, 4359] による工程別エネルギー原単位の推計では製鉄工程で6.5パーセントであった。その一方、寧・外岡 [2008] や Guo and Fu [2009] の推計は、中国の先進企業は日本企業の平均値よりも優れていると指摘した。なお王維興 [2011] によれば、もっとも差がつきやすい高炉における中国企業の劣位の原因は、鉄鉱石品位の低さ、熱風温度の低さ、コークス品質の低さであった。

要するに、エネルギー効率からみるならば、大中型企業の割合が高い重点企業のパフォーマンスは向上しており、日本との差はまだ残るにせよ縮まりつつある。なお劣悪な状態が続いているのは、小型企業の割合が高い非重点企業なのである。王・張・遅 [2007, 23] は、300立方メートル以下の小型高炉は1000立方メートル以上の中・大型高炉よりエネルギー原単位が18.8

パーセント劣勢であると主張している。小型高炉のパフォーマンスは、個別にみれば原料の選別、操業と管理の習熟の度合いによってさまざまであるが^(注10)、平均的には王・張・遅 [2007] の言うとおりであろう。

スクラップ・電炉法については、表2が示すように、RITEの最終推計ではやはり日本企業が優位にある。ただし、高炉・転炉法に比べると日中差は大きくなく、3.6パーセント程度である。もっともこの推計は鉄源を100パーセントスクラップと仮定しており、実際には中国の電炉は前述のとおり鉄源を溶銑に依存した操業を行っているので、比較自体が困難と言った方がよいかもしれない。

II 省エネルギー対策の展開と課題

ここでは、エネルギー効率と技術選択について

て、中国鉄鋼業でとられている対策を点検しよう。

1. 設備大型化・現代化によるエネルギー効率改善

(1) 大型化・現代化政策の2側面

第1の課題は、設備大型化・現代化によるエネルギー効率の改善である。これはさらに、大型設備・現代的設備・環境技術を導入するという側面と、旧式・小型設備を閉鎖するという側面をもっている。前者が重要であることは当然であるが、階層的生産構造をもつ中国では、後者の側面も独自の重要性をもっている。

中国政府は小型設備の淘汰政策を1990年半ばから実施してきたが、第十一次五カ年規劃期(2006~10年)(以下、「十一五」)からは、規模の経済性による生産性の向上を目指す産業政策と、省エネルギー・汚染物質削減を目指す環境政策の両方の見地から、鉄鋼設備の大型化・現代化を体系的に推進するようになった〔氏川・堀井2009〕。その基本政策は、国務院が2005年に策定した「鋼鉄産業発展政策」、2009年に策定した「鋼鉄産業調整・振興規劃」(以下、「調整・振興規劃」)、そして「十二五」の具体化として2011年11月に工業和信息化部が発表した「鉄鋼業十二五」である。これらはいずれも国有企業による大型新鋭設備の建設、小型設備の淘汰、企業の合併・買収を推進するものである。

(2) 大型・現代的設備と環境技術の導入

中国では長い間、世界水準の技術を建設当初から用いて設計された新鋭臨海製鉄所は上海市の宝山製鉄所しか存在しなかった^(注11)。しかし、近年、河北省曹妃甸工業区に首都京唐鋼鉄の製鉄所が、遼寧省営口経済技術開発区に鞍山鋼鉄

の新製鉄所が新たに建設され、稼働を開始した。第二次大戦後に世界に普及した代表的な鉄鋼生産設備である純酸素転炉、連続鑄造の導入はほぼ完了している。一時代前の製鋼技術である平炉はすでに廃絶されており、造塊・分塊法による半製品の製造も2010年で1.9パーセント残るのみである〔WSA 2011, 9〕。これは、平炉や造塊・分塊法がより広く残存しているロシアやインドよりも優れていると言える。ただ、小型の高炉、転炉、連続鑄造機が広範に存在しているのが中国の特徴である。

省エネルギー設備は、2000年代に急速に導入され始めた。とくにコークス乾式消火設備(CDQ)^(注12)と高炉頂圧発電装置(TRT)^(注13)が普及しつつある。重点鉄鋼企業におけるCDQ能力は、2005年にはコークス生産能力の30パーセント未満にすぎなかったが、2010年には80パーセントに達した〔中国鋼鉄工業年鑑編輯委員会2011, 225〕。同じ資料によれば、稼働中と建設中のCDQを合計すると104基に及ぶが、このうち84基は2006~10年の「十一五」期間に建設された。またTRTの保有基数は655に達し、このうち597基はエネルギー効率の良い乾式TRTである。重点企業の高炉総基数が586であるから〔中国鋼鉄工業協会2011a, 101-103〕、重点企業の枠を超えてTRTは普及していることになる。CDQ93パーセント、TRT100パーセントの日本にはまだ及ばないと思われるが〔日本鉄鋼連盟2012b〕、今後も新設のコークス炉や高炉を中心に積極的導入が続くであろう。

設備の国産化も進展している。冶金機械工業の生産額は2007年に前年比32.9パーセント、2008年に前年比36.2パーセントのペースで成長している。国産冶金機械の国内市場占有率は

2008年に85パーセントに達し、貿易においては2007年に冶金機械のうち精錬機械が初めて輸出超過となった〔張 2009, 86-87〕。より細かくみると、スラブ連铸機、熱間鋼板圧延機、冷間薄板圧延機などの鋼板類関係設備が入超であるが、炉外精錬設備、ビレット連铸機、造管機、条鋼圧延機などは出超である〔中国機械工業年鑑編輯委員会・中国重型機械工業会 2010, 156-157〕。コークス炉も出超であり、日本でも中国メーカー製の炉体を採用するケースが現れている〔鈴木ほか 2010〕。

こうした国産化は小規模設備から順に進められているが、大規模設備でも相当進展している。大型企業での例を挙げると、宝鋼集団は宝山製鉄所の重量基準による設備国産化率を以下のように報告している〔宝鋼史志編纂委員会 2006, 79〕。第1期工事では日本と旧西ドイツからの設備輸入に依存していた。第2期工事では高炉、コークス炉、焼結設備の88パーセントが国内設計・製造によるものとなり、冷延、熱延、連铸設備は日本・旧西ドイツとの合弁による設計・製造であったが、44パーセントは国内設計・製造になった。そして第3期工事では80パーセントが国産化された。また別の報告によれば、曹妃甸工業区で2009年に操業を開始した首都京唐製鉄所においては、設備の国産化比率は価格でみて70パーセント、重量でみて90パーセントとなっている。5500立方メートル大型高炉、全乾式除塵技術、「一缶到底」技術（溶銑を受け取った取鍋で、転炉に溶銑を挿入すること）が自主設計の例として紹介されている〔朱 2009, 8〕。世界第7位の内容積をもつ大型高炉の国産化に成功していることは注目すべきであろう^(注14)。

(3) 旧式・小型設備の淘汰

中国政府は、1990年代半ば以降、旧式・小型設備を閉鎖する方針を打ち出し、繰り返し淘汰を試みてきた。しかし、たびたび淘汰政策を出し直すこと自体が、旧式・小型設備を根絶できない状況を物語っていた。ここでは、「十一五」期間中に実施された淘汰政策の実効性を点検したい。

「鉄鋼業十二五」では、「十一五」期間中の2005～10年に1億2272万トンの製銑能力、7224万トンの製鋼能力を淘汰したことを誇っている。しかし、具体的にどのような設備を淘汰したかは記されていない。これを高炉について規模別にみるために、2007年と2010年に公表された淘汰対象設備リストを分析してみよう。中国政府は「十一五」期間に淘汰の実効性を上げるために、淘汰設備のリストを地方政府から提出させ、淘汰に責任を負わせるようになったのである。2007年のリストは国家發展和改革委員会産業協調司、2010年のリストは工業和信息化部のウェブサイトから入手したものをを用いた〔国家發展和改革委員会産業協調司 2007; 工業和信息化部 2010〕。2007年のリストと2010年のリストでは、淘汰対象企業や設備が一部重複している。ここから、2007年リストの対象設備について、2010年リストに再び掲載されたものについては淘汰が実現せず、それ以外の設備は淘汰が実現したと推定することができる。企業名が重複しているが、設備規模（高炉の内容積）が異なっている場合などについては保守的に、当初は淘汰できなかったものと判断する。

この想定で計算すると、2007年リストで淘汰の対象とされた952基、9191万9200トン／年の高炉能力のうち、表3が示すように少なくとも914基、8365万1200トン／年が淘汰されたと推

表3 2007～10年の製鉄能力淘汰の高炉内容積別内訳推計

高炉内容積	淘汰高炉数	生産能力(100万t/y)	能力比率
2000～2999m ³	3	5.756	6.9%
1000～1999m ³	4	4.444	5.3%
300～999m ³	66	27.442	32.8%
101～299m ³	267	30.984	37.0%
≤100m ³	574	15.025	18.0%
合計	914	83.651	100.0%

(出所) 国家発展和改革委員会産業協調司 [2007], 工業和信息化部 [2010] より算出。

定できる。淘汰された製鉄能力の55パーセントは300立方メートル未満の高炉, 87.8パーセントは1000立方メートル未満の高炉であった。この上, さらに2010年リストでは223基, 3524万6000トン/年の高炉能力が淘汰対象とされていた。両者を合わせると1億1889万7200トン/年となり, 「鉄鋼業十二五」が述べる実績1億2272万トンにかなり近くなる。小型設備を中心とした淘汰が実際に強力に実行されたことは間違いないであろう。このことは正当に評価すべきである。

しかし, それでも小型設備の根絶には至っていないものと思われる。なぜならば, 「鉄鋼業十二五」と「省エネルギー・排出削減第十二次五カ年規劃」(以下, 「省エネ・排出削減十二五」)で, 「十一五」と同レベルの小型設備を強制閉鎖することが改めて強調されているからである[国务院2012]。すなわち, 内容積400立方メートル以下の高炉4800万トン, 30トン/チャージ以下の転炉・電炉4800万トンを完全淘汰すべきだということである。淘汰目標の値が「十一五」実績を下回るということは, 小型設備の能力が過去5年間よりも縮小していることを意味する。

その意味では, 淘汰の効果は確かに上がっている。しかし, 他方で, 「十一五」で淘汰対象としてリストアップした企業をほぼ淘汰したにもかかわらず, なお4800万トンもの能力が捕捉できていなかった, あるいは新たに出現したということでもある。小型設備の淘汰は確実に進行しているが, なお課題を残しているというべきだろう。

(4) 「十一五」期の実績と「鉄鋼業十二五」における技術改善目標

「十一五」期までに実行された施策の結果, 粗鋼生産300万トン以上の巨大・大中型鉄鋼一貫企業への生産集中度は, 2005年には62.0パーセントであったが, 2010年には76.2パーセントに上昇した^(注15)。2005～10年に重点鉄鋼企業の粗鋼トン当たりエネルギー消費原単位は12.8～12.9パーセント低下した^(注16)。

「鉄鋼業十二五」では, 今後, 2015年までに上位10社の生産集中度を, 2010年の48.6パーセントから60パーセント前後へ引き上げるとされている。具体的には宝鋼集団, 武鋼集団, 首都鋼鉄, 河北鋼鉄集団, 山東鋼鉄集団, 唐山渤海鋼鉄, 太原鋼鉄の名前を挙げて, それらを合

併・買収を軸とする業界再編成の中心的存在とみなしている。併せて湛江、防城港など少数の新鋭一貫製鉄所の建設、設備の現代化、製品の高度化を強調している。その一方、前述のように小型設備の強制閉鎖を改めて強調している。推進中の企業合併の一部には、政府主導であるがゆえに経済合理性が危ぶまれるものもあり[中屋 2011]、とりわけ鋼材の高級化にはなお課題が残ると思われるが[Kawabata 2012]、新鋭製鉄所建設と設備現代化によって規模の経済性を強めようとしていることは間違いないだろう。

さらに、「鉄鋼業十二五」は省エネルギー・汚染物質排出削減技術についても重点技術を指定して、その普及を推進するとしている。具体的には、焼結排煙脱硫・脱硝技術、高温高压CDQ、コークス炉・高炉での廃棄プラスチック利用技術、高炉の乾式除塵技術、回転炉床炉での鉄含有ダスト・スラッジ処理技術、蓄熱式燃焼技術、エネルギー管理センターなどが列挙されている。また王維興[2011, 22]はこのほかに、転炉ガス回収原単位の向上、焼結余熱回収設備の設置などを強調している。これらのなかには、先進国ですでに確立しているものもあれば、一部で実用化が始まった比較的新しい技術も含まれており、技術開発と技術導入の双方が念頭に置かれていると思われる。

2. スクラップ・電炉法の拡大による省エネルギー

(1) 低下する鉄源としてのスクラップの地位

第2の課題は、鉄源を銑鉄に極端に依存する技術体系を転換することである。

こちらの課題は、過去5年間にほとんど進捗がなく、転炉比率はむしろ上昇し、電炉にも鉄

鉄が装入され続けてきた。その理由は、前述のように小型高炉の安い建設費用と短い工期、それに環境対策を怠ることによる低コスト操業にあった。

一方、スクラップの側の事情も検討する必要がある。中国の鉄鋼蓄積量は、絶対量としては小さくないし、年々増加している(注17)。中国廃鉄応用協会によれば、2006年に29.09億トンであったが、2010年には45.68億トンに達した[王鎮武 2011, 6]。しかし、蓄積量から老廃スクラップとして年々回収される比率は「十一五」期に15パーセント未満であり、しかも年々低下してきたと思われる(注18)。日本は鉄鋼蓄積量が2010年に13億2112万トンで、回収率は1971年度以後、3年の例外を除いて2パーセントを上回っている(注19)。つまり、中国は日本より鉄鋼蓄積量のはるかに多いのに、回収率が低いのである。これは、低廉な価格での発生・流通が制約されていることを意味している。1990年代以後に工業化と都市化の加速にともなって新たに建築物が建設されて鉄鋼蓄積量に加わっている一方で、老廃スクラップとなるものがまだ相対的に少ないことによると思われる。

粗鋼生産量の拡大により、中国におけるスクラップの消費量自体は、2000年の2920万トンから2010年の8670万トンまで増加した。スクラップ消費量に対するスクラップ発生量の割合は、2000年には123.2パーセントであったが、その後10年間、傾向的に低下して2010年には104.7パーセントになった。2004, 2005, 2009年には1000万トンを超える輸入が行われた[中国鋼鉄工業協会 2010b; 2012b]。経済的に利用可能な範囲でのスクラップ需給は、徐々にひっ迫しているのである。

とはいえ、中国では銑鉄を使用することが可能であるために、スクラップ需給が逼迫しても生産が制約されることはなく、銑鉄の利用が拡大した。つまり、高炉・転炉法での生産が拡大し、電炉では溶銑操業が拡大したのである。この結果、粗鋼生産全体におけるトン当たりスクラップ消費原単位は2000年に227キログラム／トンであったものが、2010年には136キログラム／トンに下落した〔中国鋼鉄工業協会2010b, 130; 2012b, 170〕。ちなみに、電炉製鋼比率が比較的低い日本でも、同時期に350～405キログラムであった^(注20)。スクラップの鉄源としての地位は、2000年代に傾向的に低下したのである。

(2) スクラップ使用拡大への展望

2010年まではスクラップの地位が低下したものの、今後はこの傾向は逆転すると見込まれる。時がたてば、建築物に由来する老廃スクラップ回収量が大きく増加することは、確実に期待できるからである。問題はその速度である。Hatch [2012] は、電炉製鋼比率は今後とも上昇せず10パーセントと想定し、17年前に蓄積された鉄鋼の70パーセントがスクラップとなるという仮定を置いて試算して、2020年に中国はスクラップ輸出国に転じると予測している。また柿内ほか [2009] によれば、中国において建設・土木用鋼材の新規建設需要がピークを迎えるのは2020年頃である。新規建設需要が成熟しつつ、建設・土木分野での更新需要、すなわちスクラップを発生させると同時に新規に鋼材をストックするようなタイプの需要が鋼材需要を規定するようになるのは、2035年頃だと予測しているのである。これらの研究からみると、2020年頃までには銑鉄に依存した銑鋼一貫生産

が有利なままであり、2035年以後は老廃スクラップを利用した電炉法が有利になると考えられる。現在小型の銑鋼一貫企業が製造している建設用鋼材は、技術的にスクラップ・電炉法によっても製造できるので、この移行に技術的障壁はない。2020年から2035年までは、政府の政策や企業の戦略による選択の余地が強く働くと予想できる。

現時点の政策をみると、「鉄鋼業十二五」はスクラップ・電炉法の拡大を明確な目標としては掲げていない。スクラップ回収・加工・配送基地の建設を推進することに触れているだけである。一方、「鉄鋼業十二五」とは別に中国廃鋼鉄応用協会が作成した「廃鋼鉄産業“十二五”発展規劃」も存在する。こちらではスクラップ使用による省エネ・汚染削減・資源節約効果が強調され、回収・加工・配送基地についてより具体的な計画が述べられている〔中国廃鋼鉄応用協会2010〕。そして、スクラップ供給を増加させ、粗鋼生産トン当たりスクラップ消費原単位を2010年の136キログラムから2015年に200キログラムとし、過去最高の227キログラムの回復をできる限り目指すことがうたわれている。ここでも製鋼法別の比率には触れていない。しかし、スクラップ消費原単位が過去最高であった2000年でも電炉製鋼比率は15.7パーセントしかなかったので〔WSA 2012, 33〕、それを上回るほどの電炉製鋼比率を2015年までに目指すわけではないだろう。

3. エネルギー原単位・CO₂排出原単位の低減目標

(1) 付加価値当たり原単位低減目標への転換
2009年11月、中国政府は、2020年までにCO₂

表4 「十二五」「鉄鋼十二五」に基づく付加価値（GDP）当たり CO₂排出原単位低減シナリオ

シナリオ	条件	2005年	2010年	2015年	2020年	2020年の2015年 比低減率
2009年発表目標	2020年までに2005年 比で40～45% 低減	基準点			40～45%	
「十二五」	2015年に2010年比で 17% 低減		基準点	17.0%		
「十二五」延長	2009年発表目標と 「十二五」の両立	基準点	19.1%	32.9%	40～45%	10.6～18.1%
「鉄鋼十二五」	2015年に2010年比で 18% 低減		基準点	18.0%		
「鉄鋼十二五」 延長	「鉄鋼十二五」に加 えて2015～20年に経 済全体と同率低減		基準点	18.0%	26.7～32.8%	10.6～18.1%

（出所）「十二五」，「鉄鋼十二五」より著者作成。

排出の GDP 当たり原単位を2005年比で40～45パーセント低減させると発表した。これは、中国政府が公認した初の CO₂排出削減数値目標であった。「十二五」によれば、実際に2005～10年には原単位19.1パーセント低減が達成された〔中華人民共和国 2011〕。そして「十二五」は、2015年に2010年比で GDP 単位当たりの CO₂排出を17パーセント低減することを目標としている。また「鉄鋼業十二五」は、前述の設備の大型化・現代化と小型設備の閉鎖、重点企業における CDQ 設置率の95パーセントへの向上など各種の環境対策を通して、「十二五」期間中に重点企業の工業付加価値当たりエネルギー消費原単位と CO₂排出原単位を、ともに2010年比で18パーセント低下させる目標を掲げている（表4）。

ここで注目すべきは、鉄鋼業における省エネルギーの基本指標が、従来用いられてきたトン当たり原単位から付加価値当たり原単位となったことである。これにより、経済全体の GDP

原単位による目標設定との整合性がとれるようになった。一方、トン当たり原単位での目標も定められている。2015年に粗鋼トン当たりの標準炭換算0.58トン进行達成するとしており、これは2010年実績の0.6046トン（図1）に対して4.1パーセントの低減である。達成にそれほどの困難は考えられず、「十一五」期の実績12.8～12.9パーセントに比べると目標自体が低めである。ただし、これは重点企業を対象とした目標であることを考慮しなければならない。非重点企業において旧式・小型設備を淘汰してもエネルギー原単位低減には貢献しないことを考慮しての低めの設定だと考えられる。

いま粗鋼と鋼材の違いを捨象して同一次元で計算すれば、トン当たり原単位4.1パーセント低減と付加価値あたり原単位18パーセント低減が整合するためには、トン当たりの付加価値が1.17倍にならないといけない。要するに、「鉄鋼業十二五」は、鋼材の製品構成を高度化し、トン当たりの付加価値を高めることを見込んで、

エネルギーのトン当たり原単位低減目標は低めに、付加価値（GDP）当たり原単位低減目標は高めに設定しているのである。これは、「鉄鋼業十二五」において建設・機械・造船・自動車・家電・電力産業向けの鋼材高度化、および特殊鋼の製品高度化を重点分野としていることと符合する。

（2）2009年発表目標に整合する「鉄鋼業十二五」延長シナリオ

ここで「十二五」と「鉄鋼業十二五」を、2009年発表目標と整合するように延長するシナリオを設定することとし、それぞれを「十二五」延長シナリオ、「鉄鋼業十二五」延長シナリオと呼ぼう。これによって、2009年発表目標を達成しようとした場合に鉄鋼業が課せられる課題や、達成した場合のエネルギー消費・CO₂排出状況を確認することができる。

まず、「十二五」延長シナリオである。2005年から2010年までの実績値、および2010～15年に関する「十二五」の目標値はすでに得られているので、2005年を基準点とした2015～20年の必要低減率は算出できる。こうして、「十二五」の目標が達成された場合には、2015～20年に2015年比10.6～18.1パーセントの低減を行えば、2005～20年の低減率が40～45パーセントとなることがわかる。これが表4の「十二五」延長シナリオである。

これを用いて「鉄鋼業十二五」の延長シナリオを作成する。鉄鋼業が2015～20年に2015年比で達成しなければならない低減率を、中国経済全体と同水準に想定する。これは鉄鋼業が主要なCO₂排出産業であることを考えると合理的な設定と言ってよいだろう。すると、2010年を起点とする「鉄鋼業十二五」の延長シナリオは、

2020年には2010年比26.7～32.8パーセントの低減を実現するものとなる。これは、中国経済全体で2009年発表の目標を達成するためには、この程度の貢献が鉄鋼業に要求されるであろう、という数値である。

この目標を評価することは容易ではない。目標達成が付加価値向上にかかっているからである。ここで問題とされている付加価値は、価格の一部として実現され、鉄鋼業に帰属した付加価値として測るしかない。こうした意味での付加価値の向上は、鉄鋼業内での投資や努力の結果として価値創造が行われることだけに依存するのではない。競争と価格変動を通じた価値分配にも依存するのであり、その予測は非常に困難なのである^(注21)。付加価値当たりエネルギー原単位を目標にしたことで経済全体の目標との整合性はとれたものの、各産業・企業では目標値を目標値として機能させる上での問題が生じているのである。

もしトン当たり付加価値の向上が実現せず、一定のままであったならば、付加価値当たり原単位目標はそのままトン当たり原単位の目標となる。2015年までに18パーセント、2020年までに26.7～32.8パーセントをすべて物的原単位で実現しようとする、ハードルはかなり高く、現在の技術体系のままでこのシナリオを実現できるのかどうかは疑問である^(注22)。

中国鉄鋼業では、鉄鋼一貫企業を中心とした設備の現代化・大型化・国産化と省エネルギー技術の導入によるエネルギー効率の向上は確実に進展している。その一方で、スクラップ・電炉法の比率を高めるという技術選択上の措置はほとんどとられていない。今後のエネルギー原単位低減に当たっては、技術体系のあり方が障

壁となって立ち上がると思われる。中国政府が期待をかけるのは付加価値の向上であるが、それは目標値としては不透明であり、業界の努力を促す上でも問題を抱えたものとなっているのである。

Ⅲ 鉄鋼生産量の増大とその諸要因

1. 鉄鋼生産量の要因分解

(1) 問題の所在と要因分解の方法

前節の原単位に続いて、本節では鉄鋼生産量に注目する。鉄鋼生産量の増大はエネルギー消費とCO₂排出を増加させる。では、いかなる要因によって生産量が增大しているのだろうか。中国政府はどの程度、鉄鋼生産の伸びを抑制しようとしているのだろうか。そのために、どのような要因がどれほど変化することが必要なのであろうか。

鉄鋼生産量は構成要因が複雑であるため、あらかじめ要因分解に関する考察を行って、見通しを立てやすくしたい。

まず、鉄鋼生産量と国内消費量の関係が問題である。2006年以後、中国は鉄鋼の純輸出国となっており、今後もそうであると予測できるため、鉄鋼生産量は国内消費量を上回るであろう。いま在庫を捨象するならば、生産は国内消費に輸出を加えて輸入を差し引いたものとなる。そこで、国内消費と生産の関係はこうなる（なお以下、鉄鋼の生産・消費等はすべて粗鋼に換算したものをを用いる）。

$$\begin{aligned} \text{生産} &= \text{消費} \times \text{生産／消費} \\ &= \text{消費} \times (\text{消費} + \text{輸出} - \text{輸入}) / \text{消費} \\ &= \text{消費} \times \{1 + (\text{輸出} - \text{輸入}) / \text{消費}\} \\ &= \text{消費} \times (1 + \text{純輸出消費比率}) \end{aligned}$$

次に問題となるのは鉄鋼消費と人口の関係であり、以下のように表現される。

$$\text{消費} = \text{人口} \times 1 \text{人当たり消費}$$

1人当たり鉄鋼消費はよく用いられる指標であるが、そこには2つの側面が総合されており、以下のように要因分解する必要がある。

$$\begin{aligned} \text{消費} &= \text{人口} \times (\text{GDP} / \text{人口}) \times (\text{消費} / \text{GDP}) \\ &= \text{人口} \times 1 \text{人当たり GDP} \times \text{鉄鋼集約度} \end{aligned}$$

消費をGDPで割った値を鉄鋼集約度と呼ぶ。これは旧国際鉄鋼協会（IISI、現WSA）によって開発された指標であり、ある経済がどの程度鉄鋼を消費しやすいかを表すものである。IISIは、これを主として鉄鋼需要予測に用いていたが〔戸田1984, 71-73〕、ここでは産業構造を表現する指標として利用する。以上を総合すれば、以下ようになる。

$$\begin{aligned} \text{鉄鋼生産} &= \text{人口} \times 1 \text{人当たり GDP} \times \\ &\quad \text{鉄鋼集約度} \times (1 + \text{純輸出消費比率}) \end{aligned}$$

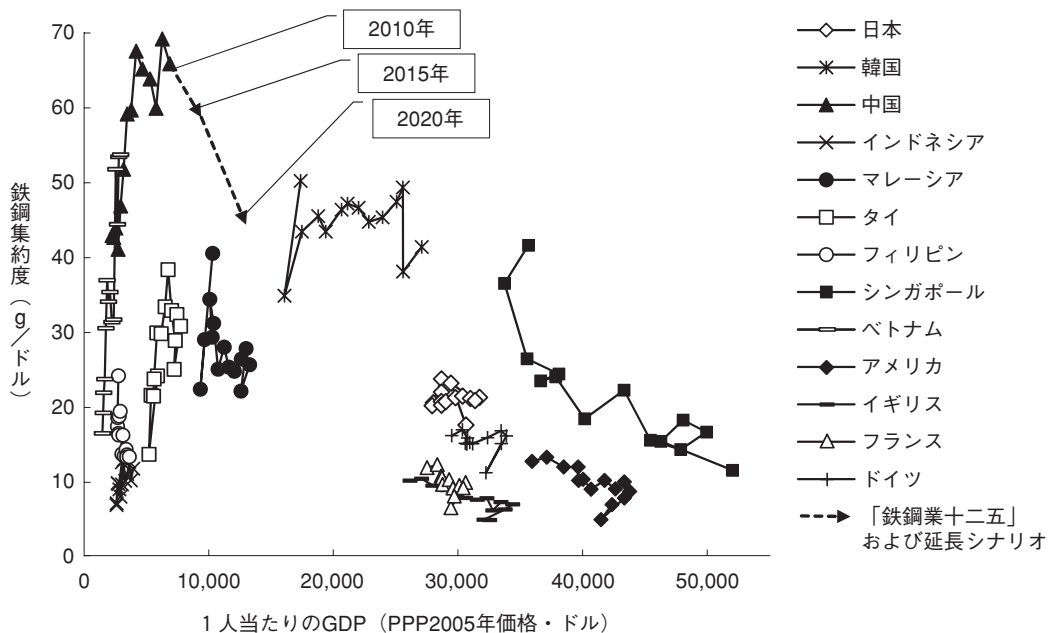
つまり、鉄鋼生産は、人口、所得水準でみた国民の豊かさ、鉄の消費しやすさからみた産業構造、鉄鋼純輸出と国内消費の比率、を掛け合わせたものに等しいのである。この等式は年単位でみれば常に成り立つので、いずれかの値が変化するためには、他の値も連動して変化しなければならない。

(2) 鉄鋼集約度の国際比較

上記の等式のうち、一見しただけでは中国が世界に占める位置がわかりにくいのは鉄鋼集約度である。そこで、鉄鋼集約度の国際比較をここで行っておく。

WSAの手法に倣い、世界各国の1人当たりGDPと鉄鋼集約度の関係を1997～2010年について図示すると図2のようになる。アジア金融危機と世界金融危機による乱高下はあるものの、

図2 鉄鋼集約度の国際比較（1997～2010年）



(出所) World Bank, *WDI Online*, UNPD [2012], WSA [various years], 「鉄鋼業十二五」より作成。

国ごとの鉄鋼集約度は、1人当たりGDPが2万～2万5000ドルに達するまでは上昇していき、それ以上になると低下する傾向がある。しかし、中国は鉄鋼集約度が同レベルの諸国と比べても突出しており、2010年に65.8グラム/ドルと図示した諸国の中で最高の値を示している。中国は、経済発展の度合いに比して極端に鉄鋼を消費しやすい経済となっているのである。この理由は別途考察が必要であるが、都市建設・工業化の急速な進行と関係していることは容易に推測できる。

2. 「鉄鋼業十二五」延長シナリオにおける鉄鋼生産量

以上の要因分解に基づいて、過去10年間の実績をチェックするとともに、「十二五」および「鉄鋼業十二五」の延長シナリオが実現した場

合の中国の鉄鋼生産高と、これを構成する諸要因をシミュレートしてみよう。

(1) 2000年代の生産拡大を規定した要因

まず2000年代の変化を、2000年と2010年の実績値を用いて検証する。粗鋼生産、人口、GDP、粗鋼見掛消費の数値があれば、等式の各項を算出することができる。これを行ったものが表5の左側である。

2000年から2010年までに粗鋼生産は4.88倍になった。この伸びを規定した要因として大きかったのは、1人当たりGDPが2.56倍になったことと鉄鋼集約度が1.6倍になったことである。すなわち、経済成長だけではなく、鉄鋼を消費しやすい方向への産業構造の変化が粗鋼生産を増大させてきたのである。

(2) 2020年までの「鉄鋼業十二五」延長シナリオ

続いて「鉄鋼業十二五」とその延長シナリオにおける等式が成り立つ条件をみよう。ここでは、人口は外生的に与えられるものとし、粗鋼消費量、純輸出消費比率、1人当たりGDPについては、中国政府が目標とするシナリオどおりとする。粗鋼消費と純輸出消費比率から、シナリオが実現した結果としての粗鋼生産量も一義的に決まる。そして、ここから、このシナリオを実現するために必要な鉄鋼集約度を導き出すという手順をとる。

「鉄鋼業十二五」は2015年の粗鋼消費量については7億5000万トンという目標に誘導すべきと定めている。2020年の粗鋼消費量については幅をもった予測にとどめているが、その中央値は7億9500万トンである。よってこれを採用する。

純輸出消費比率については、「鉄鋼業十二五」では目標は記されていないし、現実にはさまざまな事情によって変動する。しかし、中国政府の目指すシナリオとしては、2006～10年と同様の程度に輸出を行うことが望ましいであろう。国内市況によっては中国企業が輸出ドライブをかける可能性は否定できないが、中国政府が極端な輸出振興策をとることは考えにくいし、表明されてもいない。実際にも、純輸出国に転換した2006年以後、国内での生産過剰が叫ばれながらも輸出ドライブはかからなかった。むしろ中国政府は輸出品に対する増値税還付措置の削減を通して、輸出を抑えようとしてきた。2010年以後も同様の態度と想定してよいと思われる。そこで、2010～20年の純輸出消費比率を2006～10年の加重平均値と同じとすると、6.2パーセントである^(注23)。

純輸出消費比率に1を加えたものが生産と消

費の比率である。この値と粗鋼消費量から、粗鋼生産量が導き出せる。つまり、「鉄鋼業十二五」が目標とする粗鋼消費量が実現した場合の粗鋼生産量は2015年に7億9630万3000トン、2020年に8億4408万1000トンとなる。

人口については、国際連合は、中国の人口が2025年までは増え続けて13億9525万6000人でピークに達し、以後減少に転じると予測している[UNPD 2012]。この予測の中位シナリオを用いて、2010年の13億4133万5000人から2015年には13億6974万3000人、2020年には13億8779万2000人に増加すると想定する。

1人当たりGDPについてはさまざまな予測があるものの、2020年前後まで中国经济が成長を続けることを否定する見解はほとんどみられない。問題は成長の速度であり、「十二五」の想定は2014年まで年率7パーセントである。ここでは「十二五」と同率の経済成長が2020年まで持続すると想定する。これは、中国政府自身が経済の過熱を懸念して抑制気味に設定した目標であり、過大評価になる危険は小さいだろう。鉄鋼集約度の統計と互換性を保つために、世界銀行のWorld Development Indicators Onlineデータベースから得られる購買力平価2005年価格換算のGDPを用い、2010年の9兆1222億ドルから出発して2015年に12兆7944億ドル、2020年に17兆9448億ドルとなると想定する。1人当たりGDPは2010年の実績値6816ドルを出発点とし、以後はGDPと人口予測から2015年に9341ドル、2020年に1万2930ドルへと増加すると想定できる。

粗鋼消費量とGDPが得られると、それに対応して実現されるべき鉄鋼集約度が得られる。2010年の65.8グラム／ドルから、2015年には

58.6グラム／ドル、2020年には44.3グラム／ドルとなる。

以上の推計によって、「鉄鋼業十二五」およびその延長シナリオが実現した場合の中国における粗鋼生産量、人口、1人当たりGDP、鉄鋼集約度、純輸出消費比率の関係が表5のように導き出せる。2020年の粗鋼生産量は前述の通り8億4408万1000トンとなり、2010年から1.35倍に増加するが、2000年代の増加率4.88倍に比べると相当に抑制された伸びである。この増加を促進している最大の要因は1人当たりGDPが1.9倍に増大することであり、それを抑制する方向に働くのが、鉄鋼集約度が0.67倍に低下することである。2000年代の実績との大きな違いは、この鉄鋼集約度の低下である。

鉄鋼集約度の動きを図2にプロットすると、「鉄鋼業十二五」および延長シナリオではかなり急速に低下し、他の東アジア諸国の傾向線上に近づくことがわかる。これが、中国政府の目指している状態が実現するための必要条件なのである。つまり、中国政府が目指す「鉄鋼業十二五」とその延長シナリオが実現するためには、鉄鋼を極端に消費しやすい産業構造が大きく転換しなければならないのである。その実現は容易ではないだろう。

仮にこのシナリオが実現したとしても、粗鋼生産高の絶対的な伸びは大きい。世界第2位の粗鋼生産国である日本の2010年の生産高1億959万9000トンと比較するならば[WSA 2011]、その1.98倍に相当する分量が2010年からの10年間で増えることになるのである。

IV 総括と含意

1. エネルギー原単位低減と粗鋼生産量増大の関係に関する展望

ここまで、中国鉄鋼業のエネルギー消費・CO₂排出を規定する要因をエネルギー原単位と粗鋼生産量に分け、それぞれの現状と見通しを分析してきた。ここで、両者を総合しよう。表4および表5で示した「鉄鋼業十二五」の延長シナリオが実現した場合、2020年までにエネルギー消費とCO₂排出量は増大するのか、低下するのかが問題である。

ただし、エネルギー原単位が付加価値当たりになったため、図1のようにエネルギー原単位と粗鋼生産量の積によって総量を見通すことができない。そこで、「鉄鋼業十二五」が2010～15年に鋼材付加価値が1.17倍になると想定していることを2015～20年にも当てはめることによって、付加価値のシナリオを設定する。つまり、トン当たり付加価値が5年ごとに1.17倍になるとするのである。これにより、付加価値当たり原単位と付加価値総量の積によってエネルギー消費・CO₂排出総量の増減を見通すことができるようになる。

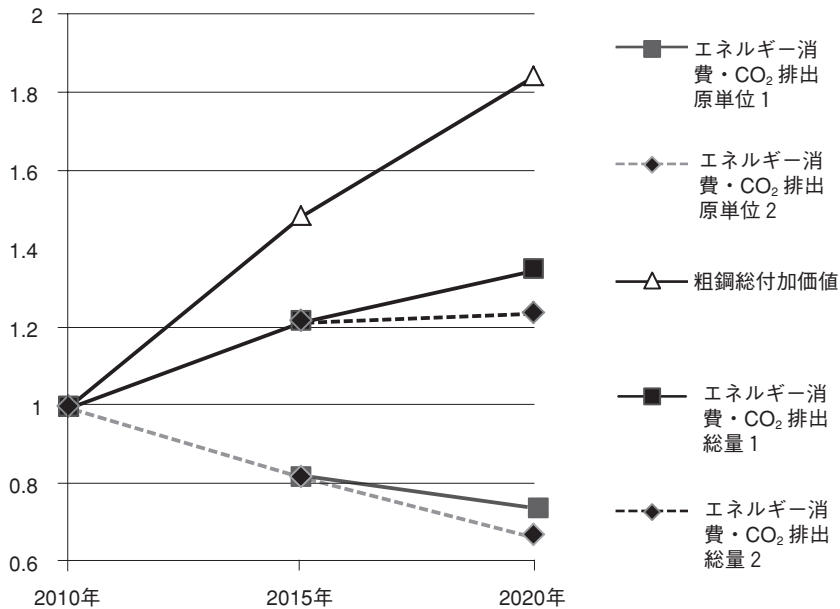
試算結果を表示したのが図3である。まず2015年時点について、付加価値当たりエネルギー消費およびCO₂排出原単位は2010年比で18パーセント低下する。一方、粗鋼総付加価値は2010年比で48.7パーセント増加する。両者を総合すると、エネルギー消費およびCO₂排出の総量は21.9パーセント増加することになる。続いて2020年時点では、原単位は2010年比で26.7～32.8パーセント低下する。一方、粗鋼総付加価

表5 「鉄鋼業十二五」延長シナリオにおける粗鋼生産量とその諸要因

年	2000実績	2010実績	2015計画	2020計画	2010/2000倍率	2020/2010倍率
人口 (千人)	1,262,645	1,341,335	1,369,743	1,387,792	1.06	1.03
1人当たりGDP (PPP 2005年価格)	2,667	6,816	9,341	12,930	2.56	1.90
鉄鋼集約度 (グラム / ドル)	41.0	65.8	58.6	44.3	1.60	0.67
1+純輸出消費比率	0.931	1.044	1.062	1.062	1.12	1.02
粗鋼生産 (千トン)	128,500	626,654	796,303	844,081	4.88	1.35
(参考)						
粗鋼消費 (千トン)	138,086	599,969	750,000	795,000	4.34	1.33
GDP (100万ドル) (PPP 2005年価格)	3,368,067	9,122,237	12,794,410	17,944,822	2.71	1.97
1人当たり鉄鋼消費 (キロ)	109	447	548	573	4.09	1.28

(出所) WSA [various years], World Bank, *WDI Online*, UNPD [2012] より作成。

図3 「鉄鋼業十二五」延長シナリオにおける粗鋼総付加価値・付加価値
当たりエネルギー消費/CO₂排出原単位・エネルギー消費/CO₂排出
総量の見通し



(出所) 表4、表5と同一のデータと本文に記した方法により作成。

(注) 2010年を1とした場合の比率。

値は2010年比で84.4パーセント増加する。これを総合すれば、2020年のエネルギー消費およびCO₂排出総量は、2010年比で23.9～35.2パーセント増加することになるのである。

つまり、「鉄鋼業十二五」とその延長シナリオを中国政府の目標に沿って達成した場合でも、2020年の時点では、中国鉄鋼業のエネルギー消費とCO₂排出の増加を総量レベルで食い止めることはできないのである。

2. エネルギー消費とCO₂排出量を規定する要因についての結論

中国鉄鋼業のエネルギー消費とCO₂排出量を規定する要因は、鉄源を極端に銑鉄に依存する技術体系、銑鋼一貫製鉄所のエネルギー効率の低さ、巨大な鉄鋼生産量である。このうちエネ

ルギー効率については、大中型企業については先進国との差を縮めていること、小型設備に対する淘汰策が有効に機能していることにより、改善が進んでいる。一方、技術体系の選択においては、スクラップ・電炉法の比率が低いという状態が変化する見通しがついておらず、技術転換やスクラップ回収率の向上を促す強力な政策もとられていない。また鉄鋼生産量については、政府が相当な産業構造転換を想定しているにもかかわらず、人口と1人当たりGDPの伸びに連動して増大し続ける見通しである。以上の要因により、中国政府が定めた「鉄鋼業十二五」の目標が2015年に達成され、これを延長したシナリオが2020年に実現した場合でも、エネルギー消費とCO₂排出の総量増加は止まらないであろう。

中国鉄鋼業におけるエネルギー消費とCO₂排出の総量を抑制する上での問題の所在は、変化しつつある。重点企業における鉄鋼一貫製鉄所のエネルギー効率の低さは、もはや主要な要因ではない。改善が相当に進んでいるからである。では、何が問題か。

第1に、小型設備淘汰に時間がかかっていることが挙げられる。これが中国鉄鋼業のエネルギー消費原単位・CO₂排出原単位の低減を制約している。技術的に参入障壁が低く、地域に建設鋼材の需要がある限り、小型企業の参入を完全に止めるのは難しいだろう^(注24)。しかし、「十一五」期には淘汰対象が1億トンを超えていたものが、「十二五」では4800万トンと半分弱になったということもまた事実である。淘汰と新規参入を繰り返しながらではあるが、低効率の設備の割合は着実に減っていくものとみられる。

第2に、技術選択において、既存の高炉・転炉法、より正確には高炉からの鉄鉄に鉄源を極端に依存する技術体系を選択している点にある。この技術体系が転換しない限り、たとえ個々の設備がすべて世界水準に達しても、中国鉄鋼業全体のエネルギー消費・CO₂排出を抑制する効果は限られてしまうのである。この解決法としては、一方においては製鉄技術のブレイクスルー、他方においてはスクラップ・電炉法の比率向上が求められる。

第3に、中国政府が鉄鋼生産量を抑制しようとしていることを正当に評価するとしても、なお鉄鋼生産量が巨大であり、今後も伸び続けることである。生産を抑制する「鉄鋼業十二五」延長シナリオが実現するためには、鉄鋼集約度を0.67倍に低下させる産業構造転換が必要である。そして、それが成功すると仮定しても、生

産量増大の効果は原単位低減の効果を打ち消して、エネルギー消費とCO₂排出総量を増大させるのである。解決法としては、いっそうの産業構造転換による鉄鋼集約度の低下を通して、鉄鋼消費を抑制することが求められる。

今後は、第1の問題が次第に解決に向かう一方で、第2、第3の問題が前面に出てくるであろう。問題の所在を変えながらも、中国鉄鋼業は、地球温暖化問題のひとつの焦点であり続けるのである。

3. 日中間技術協力政策への含意

中国鉄鋼業に対しては、先進国からの技術移転が、クリーン開発メカニズムやセクトラル・アプローチなどさまざまな政策アプローチの文脈において論じられている。このうち、本稿の結論からみて重要なことは、日中間において、セクトラル・アプローチの手段として技術移転を用いることの意義と限界である。セクトラル・アプローチは、現在存在する技術体系を所与として、利用可能な最善の技術(Best Available Technology: BAT)を普及させていくことによって、産業のエネルギー効率を高めようとするものである[IEA 2009, 250-257]。このアプローチは、本来は技術を獲得する経路を問わないものであるが、日本の経済産業省や日本鉄鋼連盟においては、とくに日本からの技術移転を主要な手段として推進する傾向が強い[日本鉄鋼連盟 2007; 2009; 小島 2009; 経済産業省 2010]。

BATの普及がCO₂排出削減に一定の効果をもたらすことは当然である^(注25)。しかし、中国を対象とする場合、このアプローチに過度に頼ること、とくにその手段として日本からの技術移転を中心に置くことは実効性が薄いと思われる。

る。

第1に、技術移転の対象となる領域が狭まってきたことがある。中国の重点一貫企業のエネルギー効率は日本との差を急速に縮めつつあり、試算によってはその差は1割を切っている。しかも、これを担う技術・設備の国産化が急速に進展している。このため、日本からの技術移転は、BATの先端領域、たとえば大型CDQ、廃棄プラスチックのコークス炉・高炉への吹き込み、新型コークス炉SCOPE21などについては有効であろうが、時とともに範囲が限られてきているとみてよいだろう。

中国鉄鋼業全体のエネルギー効率向上を制約しているのは小型設備である。これらはBAT導入の対象ではなく、淘汰政策の対象とされている。淘汰することで、BATを導入していない設備を減らすのである。このため、日本からの技術移転の対象とならない。もっとも、先行研究が取り上げた安泰集団の事例のように、未熟な小規模企業が設備を大型化しながら成長していくにあたって、操業や管理のノウハウを日本の技術者から学ぶという形態での技術移転ならばあり得る[川端2005; 川原2006; 氏川・堀井2009]。その意義は当該企業の立地する地域にとっては大きく、推進する価値はある。しかし、小型設備を一律に淘汰しようとする中国政府の政策の下では、量的には大きなものにはならないであろう。

以上のように、BATを導入することによるエネルギー効率の改善が寄与できる度合いは、傾向的に小さくならざるを得ないし、その導入方法についても技術移転に依存する度合いは小さくなっていくとみられるのである。

第2に、中国鉄鋼業においてエネルギー総消

費量とCO₂総排出量の抑制を実現しようとすれば、銑鋼一貫企業へのBAT導入では不十分だということである。中国の一貫製鉄所が皆日本並みのエネルギー効率を実現しても、それだけでは足りないのである。製鉄技術のブレイクスルーの実現、スクラップ・電炉法の拡大、現行「鉄鋼業十二五」よりも厳しい鉄鋼生産量の抑制のいずれか、もしくはすべてが必要である。これらは、同一技術体系の下でのBAT普及というセクトラル・アプローチの枠組みでは対処できない領域である。

したがって、中国鉄鋼業に対する国際技術協力は、BATの移転から枠組みを大きく拡張することが必要となる。

その方向性のひとつは、製鉄技術、CO₂排出削減技術のブレイクスルー探求において、中国とのパートナー関係を結び、強化することである。欧州の極低炭素排出製鉄(ULCOS)、日本鉄鋼連盟の環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE 50)の一部にもなっている二酸化炭素回収・貯留技術(CSS)の開発プロジェクトなどがその対象となるだろう。これらのブレイクスルー実用化の暁にはただちに中国に普及できるような体制が必要なのである。

次に、電炉法の比率拡大の障壁を取り除くための技術と方策を、やはり成果を中国に普及できるように中たちで開発していく必要がある。それは、一方では原料面に関わるものであり、スクラップ収集・分類・加工の効率化と品質管理、スクラップから高級鋼材を生産して電炉法の適用可能範囲を広げる技術の開発などが含まれる。他方では電炉法におけるさらなる省エネルギー技術の開発である。今後、国際的にエネルギー供給の原子力発電依存度を低下させる、

または原子力発電の社会的費用を電力料金に反映させる流れが強まることが予想される一方、再生可能エネルギーによる発電の割合が増大する見込みである。その際、一時的に電力コストが上昇して電炉法の拡大に制約となることがあり得るので、これを相殺する省エネルギーが求められる。

さらに、効果は間接的になるが、鉄鋼集約度を低下させる産業構造転換の可能性と、市場経済化の中でこれを促す方策についても日中で共同研究する価値があるだろう。

これらの政策的含意は、地球温暖化防止の必要性のみに即して導き出したものである。その実現に向かって国と国、また民間の経済主体の間の利害関係をいかにコーディネートするか、その際に、地球温暖化についての「共通だが差異ある責任」をどのように取り込み、具体化するかについては、さらなる検討を加えなければならない。これらについては残された課題である。

(注1) WSAの粗鋼生産統計と中国鋼鉄工業協会の粗鋼生産統計には数値の違いがある。前者は他国と比較可能であるという利点があり、後者は中国政府の政策実績や将来計画を論じる際の統一性を保てるという利点がある。このため本稿内では、どちらを使用しているかをその都度明示しながら使い分ける。

(注2) 世界のCO₂排出を産業部門別にみることが出来る資料は、毎年発表されるIEA [various years] である。この世界合計値からみて、鉄鋼業が電力産業を除く製造業における最大のCO₂排出源であることは間違いない。しかし、IEA統計は誤差も大きく、とくに国別の排出量推定とその比較に用いるには信頼性が不足している。産業分類の基準が諸国・地域間で不統一なためである。このため、各国鉄鋼業からのCO₂排出

量を直接比較することは、現時点では困難であり、本稿でも行わない。

(注3) この論点を中国について取り扱った研究として氏川・堀井 [2009] がある。

(注4) 厳密には、化石燃料消費によるエネルギー消費は、化石燃料のCO₂排出原単位を媒介にしてCO₂排出量を規定する。本稿は化石燃料ごとのCO₂排出原単位による影響は捨象しているが、それによって分析結果に大きな影響を及ぼすことはないと考えている。

(注5) 鉄鋼一貫企業とは、字面どおりにとれば鉄鉄と鋼の生産を双方とも行う企業のことであるが、通常は、鉄鉱石を主要原料とし、製鉄、製鋼、圧延という鉄鋼業の主要3工程を企業内に垂直統合している企業のことを指す。製鉄はほとんど高炉で行われるので、日本では高炉企業とも呼ばれる。対して電炉企業とは、スクラップを主要原料とし、電気炉による製鋼、圧延という2工程を垂直統合している企業のことを指す。

(注6) 転炉は溶鉄に純酸素を吹き付けることによって、燃料を用いることなく高温での精錬を可能とする設備である。したがって、合理的に操業しようとするれば高炉に近接している必要があり、実際にそうになっていることが普通である。このため、転炉製鋼比率が鉄鋼一貫企業の地位を示す指標となる。

(注7) 日本の鉄源比率は日本鉄鋼連盟 [2012a, 8-9, 106-107] より計算できる。

(注8) 圧延企業に小型設備が多いのは特異なことではない。また、転炉は高炉に近接して溶鉄を原料として使用することで初めて正常に操業できるため、小型転炉の存立は高炉の存立条件に依存している。一方、高炉は鉄鉄を製品として独立に存立することがあり得る。しかし、規模の経済性が強く作用する装置なので、小型高炉が存立するには独自の理由があると考えられる。以上のことから、小型高炉が存立して鉄鉄を供給している理由を明らかにすることを基礎として、小型鉄鋼一貫製鉄所や溶鉄を使用する電炉企業の存立を解明するのが合理的である。

なお、本稿では、内容積1000立方メートル未満の高炉を小型高炉、1000立方メートル以上2000立方メートル未満のものを中型高炉、2000立方メートル以上のものを大型高炉と呼ぶ。この基準は鉄鋼業界の慣行に倣ったものであるが、大型の基準については日本鉄鋼連盟〔2012a〕など統計書でも採用されている。

〔注9〕非重点企業の製品構成は中国鋼鉄工業協会〔2011a, 5-7〕。

〔注10〕種々の例について川原〔2006〕を参照。小型高炉のパフォーマンスを高めた例も多くはないが存在している。たとえば、川端〔2005〕や川原〔2006〕が取り上げた山西安泰集団は、1990年代には内容積100立方メートル未満の小型高炉で単純製鉄企業として操業していたが、まず、岩手製鉄の技術者であった川原業三の指導下で操業状態を改善して急成長を遂げた。続いて設備を1000立方メートル高炉などに現代化・大型化し、さらに製鋼工場・H形鋼圧延工場・線材圧延工場を建設して鉄鋼一貫化した。そして、集団の一部を介休市新泰鋼鉄有限公司として再組織し、重点企業の指定を受けるに至った。

〔注11〕宝山製鉄所も長江の河口にあるため、臨海製鉄所とまでは言い切れない部分がある。

〔注12〕コークス炉から出炉したコークスは赤熱化しており、消火してから高炉に装入される。従来は散水により消火されていたが、これでは顕熱は活用できない。CDQとは、チャンバー内でガスによって消火を行い、ガスから顕熱を回収する設備である。

〔注13〕高炉ガスは一定の圧力を保持して炉頂に達する。この圧力でタービンを回して発電する設備がTRTである。

〔注14〕内容積の世界ランキングは日本鉄鋼連盟〔2012a, 150-157〕の大型高炉リストから確認できる。

〔注15〕中国鋼鉄工業協会〔2006a; 2011a〕より計算。四捨五入の際の誤差により、表1とズレがある。中国政府には大型企業への集中を上位企業5社、10社等への生産集中度で測定する傾向があるが、これは寡占や競争の度合いを測

るには適切であっても、設備大型化による規模の経済性の指標にはふさわしくない。規模の経済性の指標には、一定規模以上の生産高をもつ企業への集中度を用いるべきである。

〔注16〕「鉄鋼業十二五」には12.8パーセントと記載されているが、中国鋼鉄工業年鑑編輯委員会〔各年〕記載の統計数値から計算すると12.9パーセントになる。

〔注17〕鉄鋼蓄積量とは、決められた地域内に存在する使用中の鉄鋼製品を含んだ鋼製の構造物のすべてを鉄に換算した総量である（日本鉄源協会ウェブサイト「鉄スクラップ関連用語解説」より）。

〔注18〕王鎮武〔2011〕、中国鋼鉄工業協会〔各年b〕より計算。スクラップの回収率は、各年の老廃スクラップ発生量を前年の鉄鋼蓄積量で割ることによって求められる。しかし、中国のスクラップ統計の多くは老廃スクラップと加工スクラップを合計した市中スクラップの発生量しかつかめず、その値も中国鋼鉄工業協会と中国廃鋼鉄応用協会では異なっている。このため、市中スクラップ統計を用いて回収率を出し、実際の回収率は少なくともそれより小さいであろうと推定した。

〔注19〕「日本の鉄鋼蓄積量」（日本鉄源協会ウェブサイト）。

〔注20〕日本鉄鋼連盟〔2012a, 2, 105, 107〕より計算。

〔注21〕中国では2004年以降、工業の部門ごとの付加価値が公表されていない。このため、過去からのトレンドによる分析も困難である。また、このままでは目標の達成度を論じることが困難であるため、部門別付加価値の再公表はどうしても必要であろう。最新の文献である工業和信息化部原材料工業司・冶金工業信息標準研究院・世界金属導報社〔2012, 324〕には2010年と2011年の工業増加値が掲載されているが、重点企業のみのものである。

〔注22〕日本鉄鋼業が2度の石油危機に直面してとった省エネルギー対策の結果、日本鉄鋼連盟の計算では1975年から80年までの5年間で約

13パーセント、85年までの10年間で約20パーセントの粗鋼トン当たり原単位低減が実現した〔日本鉄鋼連盟 1988, 219〕。これは製品構成等による補正をかけずに計算したものであり、中国の統計と近い方法によるものである。トン当たり付加価値が向上しないと、「鉄鋼業十二五」やその延長シナリオにおいて、当時の日本鉄鋼業を上回る速度での原単位低減が要求されることになる。

(注23) 粗鋼換算でみた純輸出鉄鋼消費比率の過去の実績は、粗鋼生産と粗鋼見掛消費の比率から1を差し引くことによって求められる。これをWSAの統計によって計算した。なお、WSA統計における過去の粗鋼見掛消費統計はしばしば修正されるが、ここでは2000年についてはWSA〔2010, 90〕, 2001～10年についてはWSA〔2011, 90〕を用いた。

(注24) もし小型企業が操業を効率化し、環境対策を施した上で、なお市場で存続しているならば、そもそも淘汰対象とすることは適切ではない、という議論があり得る。たとえば氏川・堀井〔2009〕がこの立場である。確かに、設備規模のみで規制を行うと、前述の介休新泰鋼鉄のように、小規模設備から出発して徐々に規模を拡大するような企業成長は不可能になり、産業の活力を削ぐという副作用をもつだろう。本来は、環境汚染は設備規模基準ではなく環境基準で規制するのが妥当である。

(注25) 本稿の著者の一人は、経済産業省〔2010〕の作成に当たって検討委員会に加わった。

文献リスト

〈日本語文献〉

- 明日香壽川・李志東・蘆向春 2010. 「COP15へ向けて 中国の意味ある参加とは? ——中国政府が掲げる温暖化対策の目標と『低炭素発展』のシナリオを読み解く——」『世界』1月号 92-103.
- 石川滋 1962. 「資本蓄積と技術選択」石川滋編『中国経済発展の統計的研究Ⅲ』アジア経済研究所.

- 氏川恵次 2001. 「中国山西省の環境問題と農村における『私営』鉄鋼業」『研究年報 経済学』62 (4) (2月) 141-160.
- 氏川恵次・堀井伸浩 2009. 「中国鉄鋼業における産業政策の再検証——進展する市場形成の下での淘汰政策の評価——」『アジア経済』50 (11) (11月) 32-63.
- 柿内エライジャ・畑山博樹・醍醐市朗・松野泰也・足立芳寛 2009. 「東アジア地域における鋼材の将来ストック・フローの推計」『鉄と鋼』95 (12) (12月) 902-910.
- 川端望 1997. 「東アジア鉄鋼業の企業類型と貿易構造(Ⅱ)」『季刊経済研究』20 (3) (12月) 47-74.
- 2005. 『東アジア鉄鋼業の構造とダイナミズム』ミネルヴァ書房.
- 川原業三 2006. 「中国山西省製鉄技術指導から」(国際シンポジウム「中国における環境技術の普及に向けた国際協力」フォレスト仙台, 3月19日) (<http://www.econ.tohoku.ac.jp/~kawabata/Omurapro/omuraCDM/finalsymp/finalsymp.html> 2012年8月27日閲覧).
- 経済産業省 2010. 「平成21年度東アジア省エネルギー推進研究事業 東アジアの鉄鋼業における省エネルギー・環境基礎調査」(委託調査報告書) 経済産業省.
- 小島彰 2009. 「鉄鋼業の温暖化対策とセクトラル・アプローチ」『科学技術動向』(5月) 8-18.
- 杉本孝 2000 「鉄鋼業——規模の経済と諸侯経済のせめぎ合い——」丸川知雄編『移行期中国の産業政策』アジア経済研究所.
- 鈴木角成・政森恒二・大谷進・中村宏 2010. 「和歌山No.1コークス炉の建設と操業」『材料とプロセス』23 (3月) 59.
- 田島俊雄 1990. 「中国鉄鋼業の展開と産業組織」山内一男・菊地道樹編『中国経済の新局面』法政大学出版局.
- 張興和・高橋禮二郎・大村泉 2001. 「中国小規模鉄鋼業起因の環境問題」『金属』71 (11) (11月) 1135-1138.
- 電炉業構造改善促進協会 2003. 『中国・韓国・台湾

- における普通鋼電炉業および鉄鋼業の現状と展望』電炉業構造改善促進協会。
- 戸田弘元 1984.『現代世界鉄鋼業論』文眞堂。
- 中屋信彦 2011.「中国鉄鋼業における立地と技術の政治経済学」平川均・多和田眞・奥村隆平・家森信善・徐正解編著『東アジアの新産業集積——地域発展と競争・共生——』学術出版会。
- 日本鉄源協会 2008.『世界の鉄スクラップ需給動向』日本鉄源協会。
- 日本鉄鋼連盟 1988.『鉄鋼十年史 昭和53年～62年』日本鉄鋼連盟。
- 2007.「地球温暖化対策への取組みに関する見解——ポスト京都に向けた提言——」日本鉄鋼連盟。
- 2009.「日本鉄鋼業の地球温暖化問題への取組み」日本鉄鋼連盟。
- 2012a.『鉄鋼統計要覧2011』。
- 2012b.「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組」(http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004513/pdf/2012_04_03.pdf 2013年3月5日閲覧)。
- 寧重東・外岡豊 2008.「中国鉄鋼業における生産形態とエネルギー消費構造」『エネルギー・資源』29 (5)313-318。
- 物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター 2004.「鉄スクラップの消費動向とその拡大技術シナリオのLCAの検討」(NIMS-EMC材料環境情報データNo.4) 物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター。
- みずほコーポレート銀行産業調査部 2004.「最近の鉄鋼・ステンレス（ニッケル）市場動向——主として中国市場の動向——」国際経済に影響力を持つ石油・素材市場の現状と見通しに関する研究会 (<http://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1022127/www.mof.go.jp/jouhou/kokkin/tyousa/1609malay.12.pdf> 2013年2月27日閲覧)。
- RITEシステム研究グループ 2009.「2005年時点のエネルギー効率の推計（鉄鋼部門—転炉鋼）」地球環境産業技術研究機構 (http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2005steel.pdf 2011年3月6日閲覧)。
- 2010.「2005年時点のエネルギー効率の推計（鉄鋼部門—スクラップ電炉鋼）」地球環境産業技術研究機構 (http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2005steelEAF.pdf 2011年3月6日閲覧)。
- 2012a.「2010年時点のエネルギー原単位の推計（鉄鋼部門—転炉鋼）」地球環境産業技術研究機構 (http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2010steel.pdf 2013年3月5日閲覧)。
- 2012b.「2010年時点のエネルギー原単位の推計（鉄鋼部門—スクラップ電炉鋼）」(http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/sysken/about-global-warming/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2010steelEAF.pdf 2013年3月5日閲覧)。
- 〈英語文献〉
- Guo, Z.C. and Z.X. Fu 2009. “Current Situation of Energy Consumption and Measures Taken for Energy Saving in the Iron and Steel Industry in China.” *Energy* 35 (11) : 4356-4360.
- Hatch Ltd. 2012. “Prospects for the Global Scrap Market.” *Presentation to Alacero 53 Congress*, October 29 (<http://www.alacero.org/CongresoAlacero53/Pte201253/P2,%20RichardMcLaughlin.pdf> 2013年3月5日閲覧)。
- International Energy Agency (IEA) various years. *CO2 Emissions from Fuel Combustion*. Paris: OECD/IEA.
- 2008. *Energy Technology Perspectives*. Paris: OECD/IEA.
- 2009. *Energy Technology Transitions for Industry*. Paris: OECD/IEA.
- Kawabata, Nozomu 2012. “A Comparative Analysis of Integrated Iron and Steel Companies in East Asia.” *The Keizai-Gaku, the Annual Report of the the*

- Economic Society, Tohoku University*. 73 (1/2) (October): 23-42.
- Oda, Junichiro, Keigo Akimoto, Fuminori Sano, and Toshimasa Tomoda 2007. "Diffusion of Energy Efficient Technologies and CO₂ Emission Reductions in Iron and Steel Sector." *Energy Economics* 29: 868-888.
- Oda, Junichiro, Keigo Akimoto, Toshimasa Tomoda, Miyuki Nagashima, Kenichi Wada, and Fuminori Sato 2012. "International Comparisons of Energy Efficiency in Power, Steel, and Cement Industries." *Energy Policy* 44: 118-129.
- United Nations Population Division (UNPD) 2012. "World Population Prospects: The 2010 Revision." Updated June 28 (<http://esa.un.org/unpd/wpp/> 2012年9月4日閲覧).
- Wang, K., C. Wang, X. D. Lu and J. N. Chen 2007. "Scenario Analysis on CO₂ Emissions Reduction Potential in China's Iron and Steel Industry." *Energy Policy* 35: 2320-2335.
- World Steel Association (WSA) / International Iron and Steel Institute (IISI) various years. *Steel Statistical Yearbook* (renamed from IISI to WSA in 2008).
- 〈中国語文献〉
- 宝鋼史志編纂委員會編 2006.『宝鋼年鑑2006』上海：上海社会科学出版社.
- 2050中国能源和炭排放研究課題組 2009.『2050中国能源和炭排放報告』北京：科学出版社.
- 工業和信息化部 2010.「2010年煉鉄淘汰落后産能企業名單」(<http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/13333175.html> 2012年9月6日閲覧).
- 2011.『鋼鉄工業“十二五”發展規劃』(<http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/14303771.html> 2012年9月12日閲覧).
- 工業和信息化部原材料工業司・冶金工業信息標準研究院・世界金属導報社編写 2012.『鋼鉄産業發展報告 2012』北京：化学工業出版社.
- 国家發展和改革委員會産業協調司 2007.「“閑停和淘汰落后産能工作”專欄」(<http://gys.ndrc.gov.cn/gtthh/> 2011年10月2日閲覧).
- 国家發展和改革委員會能源研究所課題組 2009.『中国2050年低炭發展之路』北京：科学出版社.
- 國務院 2012.「節能減排“十二五”規劃」(http://www.gov.cn/zwgk/2012-08/21/content_2207867.htm 2013年2月19日閲覧).
- 王泰昌・張媛媛・遲京東 2007.「我国鋼鉄工業節能降耗現状分析」『中国鋼鉄業』第3期 21-23.
- 王維興 2011.「鋼鉄工業能耗現状和節能潛力分析」『中国鋼鉄業』第4期 21-24.
- 王鎮武 2011.「廢鋼鉄作爲載能資源應推進産業化發展」『中国鋼鉄業』第5期 5-10.
- 張相木主編 2009.『中国裝備製造業發展報告(2006-2008年)』北京：機械工業出版社.
- 中国機械工業年鑑編輯委員會・中国重型機械工業會編 2010.『中国重型機械工業年鑑2009』北京：機械工業出版社.
- 中国鋼鉄工業“十五”發展概覽編輯委員會編 2006.『中国鋼鉄工業「十五」發展概覽』北京：冶金工業出版社.
- 中国鋼鉄工業年鑑編輯委員會編 各年.『中国鋼鉄工業年鑑』北京：中国鋼鉄工業年鑑編輯委員會.
- 中国鋼鉄工業協會(CISA) 各年a.『中国鋼鉄統計』北京：中国鋼鉄工業協會.
- 各年b.『中国鋼鉄工業發展報告』北京：中国鋼鉄工業協會.
- 中国鋼鉄工業五十年数字彙編輯委員會 2003.『中国鋼鉄工業五十年数字彙編(上卷)』北京：冶金工業出版社.
- 中国廢鋼鉄応用協會 2010.「《廢鋼鉄産業“十二五”發展規劃建議》要点」『中国冶金報』(11月).
- 中華人民共和國 2011.「国民經濟和社会發展第十二个五年規劃綱要」(http://www.gov.cn/2011lh/content_1825838.htm 2012年9月5日閲覧).
- 朱繼民 2009.「建設自主創新,循環經濟示範企業的探索与实践」『中国鋼鉄業』第12期 8-10.
- 〈ウェブサイト〉
- 日本鉄源協會「鉄スクラップ関連用語解説」(<http://>

www.tetsugen.gol.com/yogokaisetu/index.htm
2013年3月6日閲覧).

——「日本の鉄鋼蓄積量」(<http://www.tetsugen.gol.com/kiso/5chikujapan.htm>) 2013年3月6日
閲覧).

World Bank: *World Development Indicators (WDI)*
Online (<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>) 2012年5月11日
閲覧).

WSA Website (<http://www.worldsteel.org/>) 2013年3
月6日閲覧).

[付記] 本研究は三井物産環境基金2011年度研究助
成, 日本鉄鋼協会第17回鉄鋼研究振興助成, 旭硝

子財団研究助成(2009年度採択), 科学研究費補助
金(基盤研究[B] 課題番号: 22330108), 東北大
学グローバル COE プログラム「社会階層と不平等
教育研究拠点」, 中国国家自然科学基金(課題番
号: 71203084), 内蒙古大学高層次人材引進科研
プロジェクト(課題番号: 125117)の支援により実
施することができました。記して感謝を申し上げ
ます。

(川端・東北大学大学院経済学研究科教授／趙・内
蒙古大学経済管理学院講師, 2012年9月20日受領,
2013年7月23日, レフェリーの審査を経て掲載決
定)